



**HAL**  
open science

## Extraction et traitement d'un minerai d'argent au Moyen Âge (XIIe-XIVe siècles)

Marie-Christine Bailly-Maître, Alain Ploquin, Philippe Allée

### ► To cite this version:

Marie-Christine Bailly-Maître, Alain Ploquin, Philippe Allée. Extraction et traitement d'un minerai d'argent au Moyen Âge (XIIe-XIVe siècles). *Archeosciences, revue d'Archéométrie*, 2010, Mines et métallurgies anciennes du plomb dans leurs environnements. Apports des méthodes contribuant à leur étude, 34, pp.221-233. 10.4000/archeosciences.2786 . halshs-00797249

**HAL Id: halshs-00797249**

**<https://shs.hal.science/halshs-00797249>**

Submitted on 3 Mar 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License



**ArcheoSciences**  
Revue d'archéométrie

**34 | 2010**  
**Varia**

---

## Extraction et traitement d'un minerai d'argent au Moyen Âge (XII<sup>e</sup>-XIV<sup>e</sup> siècle)

Extraction and treatment of lead and silver ore in the Middle Ages  
(12<sup>th</sup>-14<sup>th</sup> centuries)

**Marie-Christine Bailly-Maître**

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/archeosciences/2786>

DOI : 10.4000/archeosciences.2786

ISSN : 2104-3728

### Éditeur

Presses universitaires de Rennes

### Édition imprimée

Date de publication : 10 avril 2010

Pagination : 221-233

ISBN : 978-2-7535-1407-2

ISSN : 1960-1360

### Référence électronique

Marie-Christine Bailly-Maître, « Extraction et traitement d'un minerai d'argent au Moyen Âge (xii<sup>e</sup>-xiv<sup>e</sup> siècle) », *ArcheoSciences* [En ligne], 34 | 2010, mis en ligne le 11 avril 2013, consulté le 19 janvier 2021. URL : <http://journals.openedition.org/archeosciences/2786> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/archeosciences.2786>

---

# Extraction et traitement d'un minerai d'argent au Moyen Âge (xii<sup>e</sup>-xiv<sup>e</sup> siècle)

*Extraction and treatment of lead and silver ore in the Middle Ages  
(12<sup>th</sup>-14<sup>th</sup> centuries)*

Marie-Christine BAILLY-MAÎTRE \*

**Résumé :** L'agglomération minière de Brandes (France) s'est implantée sur un haut plateau (Huez-Isère), à 1 800 m d'altitude, du xii<sup>e</sup> au xiv<sup>e</sup> siècle pour exploiter une mine de plomb argentifère. La nature et la conservation des vestiges offrent une complémentarité exceptionnelle, à la fois pour dresser le portrait d'une société de professionnels de la mine – fortification, église paroissiale, nécropole, habitations, niveau de vie, mentalités, état sanitaire de la population – mais aussi pour comprendre, par la fouille et l'archéométrie, les techniques mises en œuvre pour l'extraction du minerai et son traitement minéralurgique : concassage, broyage, lavage.

**Abstract:** *The mining village of Brandes (France) was settled on a high plateau (Huez-Isère), at an altitude of 1 800 m, from the 12<sup>th</sup> to the 14<sup>th</sup> century for argentiferous lead mining. The nature and conservation of the remains are remarkably complementary both for the depiction of a professional mining society – fortification, parish church, necropolis, dwellings, standard of living, mentalities, state of health of the population – and, through excavations and archaeometry, for an understanding of the mining techniques used for the extraction and mineralurgical treatment of the ore: crushing, grinding and cleansing.*

**Mots clé :** Mine, minéralurgie, Moyen Âge, plomb argentifère.

**Key words:** *Mine, mineralurgy, Middle Ages, argentiferous lead.*

---

## INTRODUCTION

Brandes est un *unicum*, car c'est le seul exemple connu de coron médiéval implanté à 1 800 m d'altitude, sur le carreau d'une mine de plomb argentifère.

Du milieu du xii<sup>e</sup> au milieu du xiv<sup>e</sup> siècle, une petite agglomération minière – *l'argenteria de brandis* – a occupé un haut plateau, sur le territoire de l'actuelle station de l'Alpe-d'Huez (Huez-Isère). La nature et la conservation des vestiges offrent une complémentarité exceptionnelle, à la fois pour connaître les techniques en usage à cette époque,

– mine et minéralurgie – mais aussi pour dresser le portrait d'une société de professionnels de la mine – fortification, église, cimetière, habitations, niveau de vie, mentalités, état sanitaire, etc.

La relative abondance d'archives émanant de l'administration delphinale éclaire sur les liens qui existaient entre Brandes et le Dauphin, et par ce biais, permet de comprendre l'enjeu politique, économique et stratégique que représentait une mine d'argent à une époque de monométallisme, avec le denier et sa subdivision, l'obole.

---

\* *Laboratoire d'archéologie Médiévale Méditerranéenne UMR 6572 CNRS – Université de Provence – MMSH, 5 rue du Château de l'Horloge, BP 647, 13094 Aix-en-Provence cedex 02*

Le Dauphiné est Terre d'Empire et le reste jusqu'en 1349, date de son Transport à la France (Chomel, 1999). La province est un comté jouissant d'une autonomie de fait, avec à sa tête une dynastie, celle des Dauphins. Le Dauphin s'intéresse tout particulièrement aux gisements argentifères. C'est ainsi qu'il intervient à Brandes et à L'Argentière-La Bessée (Hautes-Alpes), en lien avec ses ateliers monétaires (Ancel, Py, voir dans cet ouvrage).

Une enquête, réalisée à la demande d'Humbert II, en 1339, permet de savoir quelles sont les mines alors en exploitation<sup>1</sup>. C'est ainsi que l'on apprend que la mine de Brandes ne fonctionne plus, mais que d'autres sont en activité à ce moment-là : argent à Saint-Christophe, Villar d'Arène, Venosc, Cuculet, Saint-Laurent-du-Lac (actuel Boug d'Oisans) ; cuivre et plomb à Mallaval (la combe de), l'Alpeta ; fer à La Garde et Livet.

L'agglomération est exclusivement associée au fonctionnement de la mine. Les habitations se coulent entre les chantiers extractifs, les installations liées au traitement du minerai – ateliers, aménagements hydrauliques, déchets du travail – sont très prégnantes et conditionnent toute l'organisation spatiale. Lorsque l'entreprise s'arrête, la rudesse des conditions de vie pousse les habitants à partir très vite.

Lorsque Brandes s'est établie, tout porte à croire que les instigateurs de ce projet pensaient que l'entreprise aurait une longue durée d'existence. Toutes les infrastructures nécessaires à la vie d'une population avec une diversité des métiers, mais tous tournés vers le fonctionnement de cette ville minière, ont été mises en place. Archives et terrain montrent que l'aventure n'aura duré que deux siècles.

La qualité des objets témoigne du niveau de vie des habitants et un ensemble de monnaies médiévales illustre l'ouverture du plateau au monde, ouverture certainement liée à l'activité de production d'un métal précieux et au besoin de s'approvisionner à l'extérieur.

Plusieurs études anthropologiques, réalisées sur les squelettes des habitants de Brandes mis au jour dans la nécropole qui entoure l'église paroissiale, témoignent du bon état sanitaire de cette population, grâce à une bonne alimentation, tout en mettant en évidence des signes très nets de maladies professionnelles : déformations osseuses, usures des articulations, saturnisme probable, etc. (Bailly-Maître, Simonel, 1996 ; Bailly-Maître, Martin, Herrscher, 2008).

Les archives permettent de suivre l'apogée et le déclin de l'entreprise. Si la première mention textuelle de la mine apparaît dans le testament du Dauphin Guigues-André, en 1236, l'archéologie montre que l'exploitation a démarré bien avant, peut-être dans la seconde moitié du XII<sup>e</sup> siècle.

1. AD 38 B3120 : enquête du Dauphin en vue de la cession du Dauphiné au Saint-Siège, 1339.

En 1236, le Dauphin lègue, pour trois années, le revenu de la mine pour la construction de la collégiale Saint-André, à Grenoble, pour en faire sa sainte chapelle (Valbonnays, 1722). Durant cette période, la mine doit rapporter 30 000 sous. Le Dauphin paraît, alors, être le seul bénéficiaire du produit de la mine.

En 1250, le *Probus* nous apprend que la mine ne vaut plus que 250 livres par an, ce qui traduit une forte chute par rapport au document précédent<sup>2</sup>. Les comptes de la châtelainie d'Oisans enregistrent le déclin irréversible de l'entreprise tout au long de la première moitié du XIV<sup>e</sup> siècle. De 1313 à 1319, la mine ne rapporte rien. En 1320, le compte enregistre la somme dérisoire de 2 onces d'argent<sup>3</sup>.

Très vite, le Dauphin ne perçoit plus que le neuvième du revenu, probablement afin de ne pas grever davantage le coût de l'exploitation. Au moment de la crise qui marque l'arrêt du fonctionnement de la mine, ce dernier apparaît comme celui qui prend les décisions, paie le coût exorbitant de l'opération de remise en état de la mine : 900 livres<sup>4</sup>. Seul ce grand seigneur peut assumer une telle dépense.

Un procès éclaire sur les raisons de cette crise<sup>5</sup>. Le Dauphin Jean II (1307-1319) a commandité des travaux car la mine est inondée et éboulée. L'enquête de 1339 précise : « *item habet Dominus plures crosos minerium argenti. Noviter propter aquarum diluvia fuerunt foramina clausa et occupata*<sup>6</sup>. » Les effets de la dégradation climatique qui commence à frapper l'Occident ont du être particulièrement précoces et sensibles à cette altitude. La non-maîtrise technique des problèmes d'exhaure est la cause principale de la ruine de l'entreprise, après une courte période de rémission entre 1320 et 1336. Sursis très artificiel qui n'a été possible que grâce à l'investissement delphinal.

On ignore à quelle vitesse le village se vide de ses occupants, mais tous les documents vont dans le sens d'une perte de statut de l'agglomération. Dans l'enquête de 1339, en vue de la cession de la province au Pape, l'église Saint-Nicolas n'est plus une paroisse et le château ne figure pas sur la liste des châteaux et fortifications du Dauphiné.

## 1. LA MINE

Le minerai exploité est un plomb argentifère. L'entreprise minière s'organise autour de plusieurs centres d'extraction

2. AD 38 B2662.

3. AD 38 VIII B.

4. AD 38 B3333.

5. *Idem*.

6. AD 38 B3120 : enquête du Dauphin en vue de la cession du Dauphiné au Saint-Siège, 1339.

du minerai qui suivent le gisement. Le plateau de Brandes est traversé par un filon qui affleure, à l'ouest, dans l'abrupt rocheux en contrebas de l'église, se poursuit sous le plateau argileux qui porte les maisons, pour réapparaître 1 km plus loin, à l'extrémité orientale du village dans le secteur de l'Écluse et se prolonger jusqu'au lac Blanc, à 2 500 m d'altitude (fig. 1). Il est possible que les mineurs aient cherché le

minerai argentifère jusqu'à 2 990 m d'altitude où des travaux extractifs très comparables aux chantiers médiévaux se voient encore, au-dessus du lac du Milieu. Enfin, une recherche sur filon stérile a été menée dans la combe Chave (*croesus Chalveti* ou *Salveti*), au-dessus du hameau du Gua.

Les chantiers miniers de Brandes se sont développés directement dans la puissance des filons qui affleuraient.

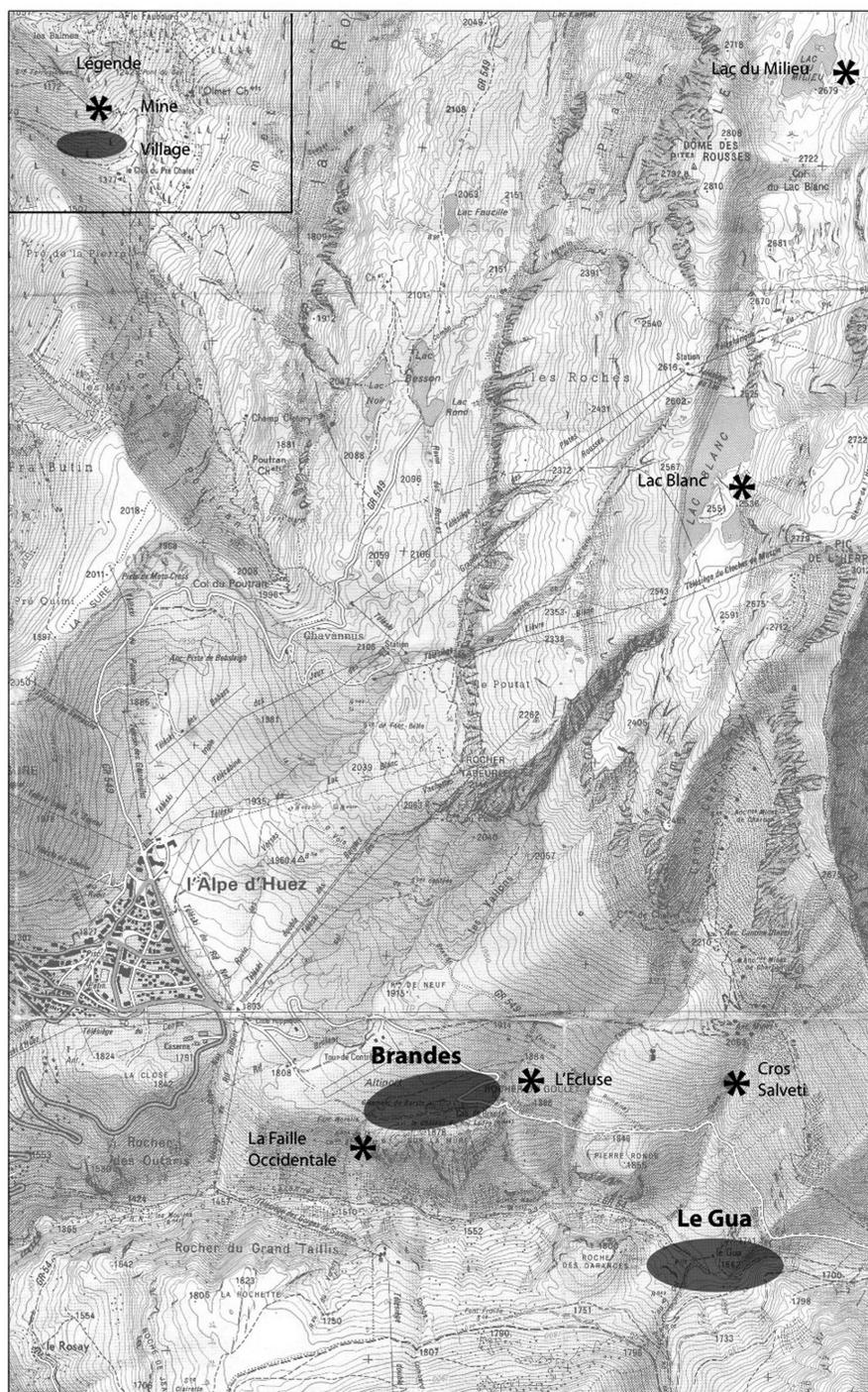


Figure 1 : Localisation des chantiers miniers (carte IGN au 1/25 000 Le Bourg-d'Oisans 3335 ET).

Figure 1: Western works developed in the thickness of the veins.

L'exploitation débutait à ciel ouvert, parfois sur plus de 10 m de profondeur, avant d'évoluer en chantiers entièrement souterrains. Tous étaient pourvus d'aménagements intérieurs destinés à faciliter le travail et la circulation des mineurs. Le désir d'extraire toujours plus de minerai a conduit les hommes à s'enfoncer profondément sous terre. Pour cela, ils ont dû résoudre des problèmes techniques liés à l'abattage de la roche, la circulation, l'exhaure, l'aération et l'éclairage.

### La prospection

À Brandes, le filon affleurant à l'ouest du plateau, la prospection en a d'abord été simplifiée. Mais très vite les hommes ont cherché à étendre leur activité en ouvrant des chantiers en haute altitude (lac Blanc et lac du Milieu), et en entreprenant des travaux gigantesques sur le plateau même. Les géologues de l'entreprise avaient compris que le gisement s'organisait selon une gîtologie de type sygmoïdal, ou en dominos, et très logiquement, ils l'ont cherché partout où il n'était pas apparent. La pelouse est percée de six entonnoirs alignés sur le tracé hypothétique du filon, sous les argiles morainiques qui recouvrent le plateau. Ces entonnoirs sont soit des puits au jour colmatés, soit des soutirages de galeries effondrées passant sous les habitations. Plus spectaculaires encore, sont les travaux réalisés dans le secteur de l'Écluse, en extrémité orientale du village. Là, les mineurs ont creusé des puits dans l'argile, de façon à atteindre le socle rocheux. Mais le recouvrement morainique a, à cet endroit, près de 10 m d'épaisseur. Avant l'intervention archéologique, ces puits de recherche étaient bien visibles, chacun étant bordé d'un petit cavalier. Devant l'impossibilité matérielle de ce type de prospection, les mineurs ont mis en place un système original : un décapage des morts-terrains par chasse d'eau. Le creusement du canal de l'Écluse a dû être une opération de longue haleine, demandant une importante main-d'œuvre et un travail de conception préalable, avec calcul des pentes, des débits d'eau, etc. Un réservoir en fer à cheval matérialisé par des levées de terre est alimenté par une canalisation longue de 700 m, qui amène l'eau depuis le déversoir du lac Blanc, avec un captage à 2 100 m d'altitude, jusqu'au réservoir où elle était stockée, de façon à faire des lâchers, dans un chenal long de 250 m (fig. 2). L'eau s'évacuait ensuite par un canal de fuite de près de 500 m de longueur pour se jeter dans la vallée de la Sarenne. Le calcul était bon puisque le filon a été retrouvé et exploité. La fouille des chantiers de l'Écluse a livré à l'étude la plus grande partie des informations quant aux équipements intérieurs des chantiers puisque la totalité de la charpenterie de mine était conservée en place avec, en particulier, la réalisation



Figure 2 : Le canal de l'Écluse.

*Figure 2: Canal de l'Écluse.*

d'un couloir boisé identique à ceux que montre l'iconographie du XVI<sup>e</sup> siècle (voir *La circulation des hommes et des matériaux*).

### La datation

Les travaux situés à l'ouest du site, sous le rocher Saint-Nicolas, correspondent à des chantiers à ciel ouvert, pouvant atteindre au moins 10 m de verticale (le socle rocheux n'a pas été touché par les opérations archéologiques qui se sont arrêtées sur des remblais), et des chantiers souterrains dont on ne connaît pas l'extension réelle. Les rares bois encore en place n'ont permis que des datations radiocarbone qui s'échelonnent entre 1084/1225 et 1348<sup>7</sup>. En revanche, grâce aux grandes quantités de bois provenant des chantiers de l'Écluse, des datations dendrochronologiques précisent l'année, voire la saison, d'abattage de l'arbre. Grâce à ces datations, on sait que les chantiers de l'Écluse ont débuté dans

7. Datations réalisées par le laboratoire Archéolabs.

la première décennie du XIII<sup>e</sup> siècle (1205-1206 pour le bois le plus ancien et 1264 pour le plus récent)<sup>8</sup>.

Deux hypothèses se présentent : soit les mineurs ont débuté très tôt dans le XII<sup>e</sup> siècle la mise en œuvre du filon occidental et n'ont été contraints de rechercher de nouvelles possibilités à l'Écluse qu'après avoir épuisé ce qui était facilement exploitable à ciel ouvert ; soit la stratégie était, comme cela sera souvent le cas dans la gestion des entreprises minières, de mener des prospections avant même que les réserves soient épuisées ou inatteignables. La disproportion manifeste entre l'importance du travail nécessaire à la réalisation du canal de l'Écluse et la faiblesse des minéralisations du gisement oriental où les filons sont fractionnés en petites poches peu riches montre combien le mot d'ordre était de faire des recherches et des mises en exploitation tous azimuts. Un petit chantier au-dessus du hameau du Gua, dans la combe Chave, en est la parfaite illustration. Une galerie de recherche a été creusée dans une forte pente, et une petite forge a été installée à l'entrée de la galerie, alors même que rien n'attestait qu'un réseau allait se développer ; d'ailleurs la recherche s'interrompt au bout d'une douzaine de mètres, faute d'avoir croisé un filon intéressant.

### Le minerai

Ce gisement polymétallique a, comme minerai principal, le plomb argentifère, sulfure associé à du cuivre, de la blende (zinc), du soufre, de l'arsenic et de l'antimoine. La richesse en argent du minerai de Brandes devait être jugée suffisante ; les analyses réalisées sur un échantillon donnent une teneur en argent de l'ordre de 0,1 % en masse rapportée au plomb métal. Ce chiffre n'est qu'indicatif car il faut procéder à des analyses systématiques sur les minerais provenant des différents chantiers extractifs ayant alimenté l'entreprise minière. La gangue est formée en grande partie de baryte, mais du quartz peut être associé à cette dernière et le minerai est parfois en imprégnation dans les gneiss encaissants. La formation du gisement s'est faite postérieurement à la mise en place de la couverture sédimentaire puisque le filon traverse les gneiss (à l'ouest du site) et les dolomies (à l'est au niveau des chantiers de l'Écluse). La puissance est très variable, de 10 cm à près de 2 m.

### L'abattage du minerai

Les parois des chantiers, la forme des galeries et les fronts de taille conservent les traces des techniques employées par les mineurs pour extraire la roche.

À Brandes, deux techniques ont coexisté : l'abattage par percussion et l'abattage par le feu. Malgré l'absence de bois, l'extraction s'est principalement faite par le feu. Les galeries sont de forme arrondie, avec des parois curvilignes, caractéristiques de cette technique (fig. 3). L'examen des chantiers a montré que les mineurs préparaient les fronts de taille de façon à guider l'action des flammes. Il semble que le minerai et sa gangue, peu résistante quand il s'agit de baryte, étaient abattus à l'outil et que la technique du feu était réservée aux zones stériles : élargissement des galeries dans l'encaissant (le gneiss) une fois le filon enlevé, galeries de recherche, etc. Un front de taille terminant une courte galerie de recherche conserve les traces très lisibles des deux techniques employées de façon concomitante : coupole d'abattage par le feu et stries de l'outil ayant permis de purger la roche attendrie après l'action des flammes.



Figure 3 : (Voir planche couleur) Forme arrondie des galeries caractéristique de l'abattage par le feu.

Figure 3: (See colour plate) A gallery face work bearing fire and Tools marks.

8. *Idem*.

De l'outillage métallique a été retrouvé. Il se compose de burins (pointerolles non emmanchées), d'une masse et de coins en fer. Ces derniers étaient encastrés dans les fissurations de la roche pour la faire éclater, de la façon représentée dans une planche de la Rouge Myne de Saint Nicolas (1530) (Brugerolles *et al.*, 1992).

### La circulation des hommes et des matériaux

Une autre planche illustrant les travaux dans la Rouge Myne de Saint Nicolas, dans les Vosges, en 1530, montre un espace souterrain quadrillé par des axes verticaux et horizontaux qui facilitent à la fois la circulation des hommes et des matériaux et l'aération des chantiers profonds (Brugerolles *et al.*, 1992). Ce schéma, présenté comme une innovation de la Renaissance liée au développement du roulage de petits chariots en mine (Benoît, 1988), était déjà connu au Moyen Âge, comme en témoignent les découvertes archéologiques.

À Brandes, deux galeries, au moins, conservaient les vestiges d'une voie pour la circulation horizontale (fig. 4). Ordinairement les voies de roulage étaient installées dans des galeries en travers-bancs, tracées dans le stérile, et dont la seule fonction était liée à la circulation. À Brandes, les chantiers se développant dans la puissance des filons, depuis l'affleurement, aucune galerie en travers-bancs n'a été creusée, et les voies de circulation ont été implantées dans d'anciens chantiers d'extraction reconvertis en axes de circulation. 20 m d'aménagement étaient conservés. Des rondins, régulièrement espacés de 30 cm, étaient posés au sol, perpendiculairement à l'axe de la galerie. Chaque rondin présentait deux aplanissements espacés de 25 cm, consécutifs aux passages répétés de traîneaux à patins, chargés de minerai. Brandes démontre une utilisation précoce du traîneau en mine puisque les voies ont été datées du XIV<sup>e</sup> siècle<sup>9</sup>.

La même adaptation s'observe pour la circulation verticale. Les chantiers miniers de l'Écluse ont conservé toute leur charpenterie de mine. Des planchers étaient encore en place, sur la totalité de la longueur des zones d'exploitation. Des rondins de bois, calés en force entre les parois des dépilages, supportaient des planches. De la mousse, coincée dans les interstices, faisait office de calfatage. Ces aménagements avaient plusieurs fonctions : ils participaient à la circulation horizontale et verticale des mineurs, ils servaient également à stocker des stériles sous terre. Un puits était aménagé à l'extrémité d'un ancien chantier, il faisait communiquer les travaux souterrains avec la surface. Les parois avaient été redressées sur trois côtés. L'une d'elles servait



Figure 4 : (Voir planche couleur) Voie de circulation aménagée au sol de deux galeries à Brandes, destinée à faciliter le passage de traîneaux à patins.

Figure 4: (See colour plate) Gallery with track for sledges.

d'appui à une échelle longue de 5,20 m. La tête de puits était matérialisée par des bois assemblés par tenons/mortaises et par chevilles, alternant avec des lits de pierres. Les deux montants d'un treuil étaient effondrés sur place. La paroi qui recevait l'échelle était cuvelée de planches. Quatre poteaux encadraient la tête de puits ; ils devaient supporter une petite toiture.

Les chantiers de l'Écluse ont permis d'étudier une infrastructure d'un genre particulier : un couloir boisé. L'illustration du Graduel de Saint-Dié (Vosges), daté de 1514, montre un couloir boisé à la sortie d'un travers-banc de circulation et d'exhaure (Pierre, 2008). Le système mis en place à Brandes est à la fois comparable dans sa conception et différent dans sa fonction (fig. 5). Les terrains qui recouvraient les filons étaient des argiles morainiques très dures

9. Datation Archéolabs ref. ARC93/R1491C: Âge brut caliber 555+/-50 BP soit 1295 -1375 cal AD (à 53,9 %).



Figure 5 : Couloir boisé, vue d'ensemble au moment de la fouille.  
 Figure 5: A wooden corridor to protect entrances and miners.

recouvertes par des argiles de colluvionnement, le tout sur une épaisseur de 10 m environ. Afin d'atteindre la roche, les mineurs ont pratiqué, avec succès, la technique du décapage par chasse d'eau grâce au canal de l'Écluse. À partir de sa mise en évidence, les mineurs ont suivi le gisement en creusant directement dans l'argilite et en installant un couloir boisé au fur et à mesure. Au contraire des chantiers sis à l'ouest du village, ouverts dans un filon massif encastré dans des gneiss, la roche encaissante des chantiers de l'Écluse est de la dolomie et le filon se subdivise en un faisceau de filons plus ou moins importants, chacun ayant donné lieu à un chantier. Deux couloirs boisés, au moins, étaient encore visibles, dont un particulièrement bien conservé. Dans le prolongement du puits décrit plus haut, un cuvelage de planches était maintenu en place par un alignement de poteaux verticaux, poteaux doublés du côté où les poussées de terre étaient les plus importantes. Les planches, débitées en rayons, et par conséquent de section triangulaire, se superposaient de façon à former une paroi étanche. La première différence avec les couloirs boisés de l'iconographie est que celui-ci était couvert. Des poutres horizontales, assemblées par tenons/

mortaises aux poteaux verticaux, servaient de cadre à un toit fait de planches mises à plat. Le couloir ainsi construit mesurait 0,80 m de large et était conservé sur environ 10 m de longueur. La seconde particularité était la hauteur – 0,80 à 1,25 m – qui ne permettait pas aux hommes de se tenir debout et encore moins, de circuler à l'intérieur. La fonction de cet aménagement était de protéger les entrées de mine des éboulements de terrains consécutifs au creusement dans l'argile sur une telle profondeur. L'étude des essences a montré que les charpentiers de mine n'avaient pas opéré de sélection en fonction de l'usage des bois – planches, poteaux cadres, planchers – et les espèces identifiées sont représentatives de ce qui était disponible, c'est-à-dire des bois appartenant à une forêt mixte poussant entre 800 m et 1 500 m d'altitude.

### La gestion des stérile

Pour limiter le déplacement de charges importantes, les mineurs stockaient une grande partie des roches encaissantes sous terre, en formant de véritables murs contre les parois rocheuses, en les empilant sur les planchers et en comblant

d'anciens chantiers abandonnés. Seuls les blocs minéralisés étaient remontés à la surface. La gangue stérile était alors rejetée après un tri et formait des haldes. En 1925, les déchets présents en surface sur le plateau étaient estimés, en vue de leur ré-exploitation, à 900 000 tonnes (la densité de la baryte est de 4,4).

## L'exhaure

L'inondation des chantiers miniers est la principale difficulté que les mineurs ont eu à résoudre. L'évacuation des eaux souterraines coûte cher et devient impossible à une certaine profondeur.

Les actes d'un procès, de 1321 à 1327, l'attestent, la mine de Brande cesse son activité pour cause d'inondation<sup>10</sup>. Des travaux ont été commandités par le Dauphin Jean II (qui règne de 1307 à 1319) afin de « *reyam facere et crosos ipsium eccolare...* [creuser une tranchée (ou galerie) et ainsi dénoyer les chantiers] ». C'est un entrepreneur de Besse, Guigues Radulphi, qui obtient le marché. À cette occasion, on voit intervenir deux administrateurs delphinaux : le châtelain et le *dominus praeffectus dictae Argentariae* ou préfet de la mine (Valbonnays, 1722, enquête de 1323). Les textes montrent qu'en réalité, la charge de préfet est tenue par le châtelain d'Oisans. Le contrat passé sous la forme d'un prix-fait est de 900 livres. L'entrepreneur reçoit une provision de 500 livres pour démarrer les travaux, mais il ne parvient pas à mener sa tâche à bien. Il s'ensuit un procès dont les actes sont conservés. Deux nouvelles équipes tentent vainement de remettre la mine en état. En 1324, on voit intervenir un nouvel entrepreneur, Hugues Giraud, qui semble renoncer en 1327. Les derniers à tenter leur chance figurent dans les comptes de châtelainie de 1327 et 1328 « *a Bertrando Alamando pro reya Argentariae cavenda*<sup>11</sup> ».

L'étude archéologique confirme que les galeries de mine sont sans cesse parcourues par une eau abondante et glacée. Au moment du fonctionnement de l'entreprise, il est très probable que les mineurs aient mis en place des dispositifs pour limiter les nuisances. Pour les chantiers situés en contrebas du rocher Saint-Nicolas (à l'ouest du plateau), la gîtologie a permis de retarder les effets des venues d'eau puisque les travaux s'étagent le long d'un filon sub-vertical sur près de 200 m de dénivelé et communiquent entre eux ; tout naturellement, les eaux percolaient vers la galerie la plus basse qui faisait office de galerie d'exhaure et de circulation puisqu'elle était équipée d'une voie pour les traîneaux. Par endroits, des regards (simples fentes rectangulaires) creusés

au sol des galeries facilitaient l'infiltration des eaux vers les galeries basses. Au lac Blanc (2600 m d'altitude), la gîtologie est la même, les travaux s'étagent le long du filon vertical, mais une véritable galerie d'exhaure a été creusée par les mineurs à la base des chantiers d'exploitation ; cette dernière mesure une vingtaine de mètres de longueur et une ouverture à l'extrémité la fait communiquer avec la galerie d'exploitation la plus basse, collectant ainsi les eaux de l'ensemble du dispositif. Malgré ces aménagements, la mine est noyée et l'important effort financier consenti par le Dauphin ne permet pas de reprendre l'activité.

Cette surabondance d'eau est probablement à mettre en liaison avec la dégradation climatique qui s'amorce au milieu du xiv<sup>e</sup> siècle.

## L'éclairage

Les parois des galeries conservent peu d'aménagements liés à l'éclairage. Les lampes étaient en fer et brûlaient du suif. Elles étaient munies de tiges terminées par un crochet qui permettait de les suspendre à la moindre aspérité de la roche, ce qui rendait inutile le creusement de niches. Une baguette était encore en place, coincée entre deux parois d'un front de taille ; le mineur y accrochait sa lampe et pouvait ainsi éclairer son plan de travail. On ignore la forme exacte de la lampe, seule une tige a été retrouvée, mais elle devait être très proche du modèle de la Rouge Myne de Saint Nicolas (Brugerolles *et al.*, 1992).

## L'aération

La profondeur des travaux, ajoutée à un abattage par le feu, nécessitait une bonne aération. L'étagement des chantiers sur plus de 200 m de dénivelé, les ouvertures au jour à différents niveaux facilitaient un courant d'air naturel toutefois insuffisant, car on observe des encroûtements de suie, preuve d'une mauvaise ventilation. Aucun dispositif de ventilation artificielle n'a été retrouvé.

## Les forges minières

L'outillage du mineur (burin, coin, pointerolle, pic, masse) devait être entretenu quotidiennement pour conserver son efficacité. Le forgeron de mine occupe donc une place stratégique dans l'entreprise et son savoir-faire est indiscutable (soudures fer/acier parfaites) (Benoît, 1997). Dans son ouvrage *De la pirotechnia*, il signor V. Biringuccio préconise, en 1540, de construire la forge avant même de débiter les travaux miniers (Biringuccio, 1540).

10. AD 38 B 3333, f° 5.

11. AD 38 VIII B 20, f° 79.

Quatre forges ont été mises au jour, deux sur le plateau de Brandes, une au lac Blanc et une dernière sur le carreau du chantier du Gua (combe Chave).

Toutes sont organisées selon un même modèle dénotant une standardisation de ces ateliers (fig. 6). Le foyer de forge est surélevé par un bâti en pierres, en face se trouve le bassin de trempe; entre le bassin et le foyer, le trou du billot d'enclume est environné de battitures. Des trous de piquets marquent au sol l'emplacement du bâti du soufflet et indiquent une soufflerie latérale au foyer. Le modèle que l'on peut restituer est proche de celui de Saint Dié, dans les Vosges (1514). Juxtant le foyer de forge, un caisson de pierres contenait une argile fine exempte de toute pollution. L'hypothèse retenue, après l'expérience menée par le musée du Fer de Jarville (opération Katana), est que cette argile servait au moment des soudures fer/fer ou fer/acier. Le fer chaud était plongé dans un bain de boue liquide, ce qui évitait la formation d'une pellicule d'oxydation au moment de l'application du fer ou de l'acier. Le même système a été observé dans la forge XVI<sup>e</sup> siècle du Samson, dans les Vosges (Bailly-Maitre, 2001a).

L'étude métallographique d'un burin minier scié en deux a montré que cet outil était formé de quatre bandes d'acier soudées à la forge; chaque élément ayant des teneurs en carbone différentes, il s'agit très probablement d'acier provenant du recyclage d'outils usagés<sup>12</sup>. La qualité des soudures atteste la grande compétence des techniciens. Cet outil pose la question de la qualité de l'outillage du mineur; la pointe présente une structure perlitique ou ferrito-perlitique et seule une bande a, par endroits, une structure aciculaire suivie d'un probable traitement de revenu. Hormis cette zone, aucune structure de trempe volontaire n'a été observée. A la différence des pointerolles étudiées sur d'autres sites, pourvues d'un insert en acier monté en gueule de loup sur un corps en fer doux, les outils de Brandes sont tout en acier non trempé (Guillot, Fluzin, 1987). On observe dans l'outil, une large fissure caractéristique d'un usage intensif, confirmé par l'aspect très écroui du talon. Le burin était prêt à se rompre. On peut se poser la question de la tenue d'outils en acier sous les chocs répétés des masses...

Deux pinces de forgeron, en parfait état, ont été retrouvées : découverte exceptionnelle car ces objets sont rarement abandonnés. Plus de trois tonnes de scories, principalement des culots de foyers de forges, attendent d'être étudiées.

Si les quatre forges respectaient une même organisation spatiale, leur fouille a livré des éléments complémentaires.

12. Étude réalisée par I. Guillot, du Laboratoire de Physico-Chimie des Matériaux de l'université de Technologie de Compiègne.

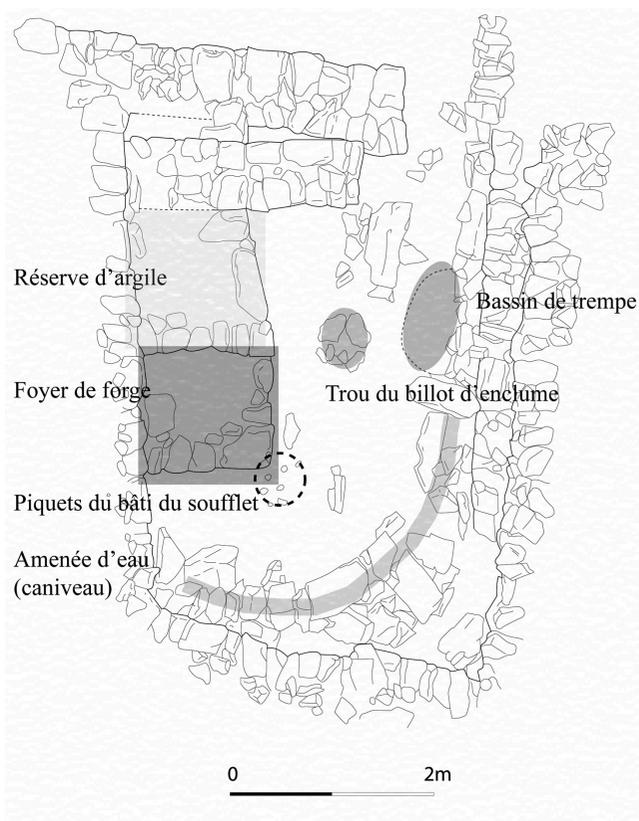


Figure 6 : Plan type des forges de Brandes.

Figure 6: Drawing a standard mining forge.

La forge du Gua illustre parfaitement les préconisations du traité vénitien de 1540, puisqu'elle est associée à une courte galerie de recherche qui n'a pas donné lieu au développement d'un réseau minier. Située dans une pente abrupte, son installation a nécessité un important travail de terrassement. La forge sise au lac Blanc était associée à deux halles de stockage du combustible car il fallait monter le charbon de bois depuis le village et plus encore, depuis la vallée, le plateau de Brandes étant dépourvu de végétation arbustive, comme l'ont bien montré les analyses palynologiques réalisées à partir des milieux humides qui entourent le site. Les deux forges fouillées dans le village voisinaient un des entonnoirs qui percent le plateau (puits au jour?). C'est dans ces ateliers que les vestiges des aménagements intérieurs étaient les mieux conservés. Un énorme bloc erratique placé juste devant le mur de façade de l'une de ces deux forges est entièrement marqué de croix et de petites cupules de forme pyramidale dans lesquelles l'extrémité des burins s'adapte parfaitement; l'hypothèse est d'y voir un bloc servant à l'essai des outils par le forgeron. Une cinquième forge a été localisée sur le plateau, juxtant un entonnoir proche des chantiers de l'Ecluse,

à l'est de l'agglomération ; elle n'a pas été fouillée. Enfin, un atelier mis au jour dans le quartier de la Source, immédiatement en amont des chantiers occidentaux du plateau, est très probablement une forge, mais en très mauvais état de conservation. Ne subsistaient que le bâti du foyer, quelques scories, et un fragment de trompe d'appel découvert dans le foyer, peut-être réutilisé en tuyère.

Au total, l'entreprise comptait au moins six forges qui fonctionnaient en même temps. Cela tient à l'éloignement de certains chantiers et à l'ampleur des réseaux miniers. Il faut donc imaginer que la population comptait plusieurs forgerons spécialisés.

### 3. LE TRAITEMENT DU MINÉRAI OU MINÉRALURGIE

Seules trois étapes – concassage, broyage, lavage – étaient pratiquées à Brandes. La métallurgie se déroulait ailleurs, mais des essais du minerai ont été pratiqués sur place. Il s'agissait de déterminer la teneur en métal précieux du minerai.

La fouille archéologique a montré que les ateliers étaient dissociés des habitations et regroupés en quartiers, principalement en bordure occidentale du village.

Contrairement au tisserand et au potier qui travaillaient chez eux, le minéralurgiste exerçait son métier dans des ateliers, toujours spécialisés dans une de ces trois opérations. Ces ateliers ne pouvaient abriter que deux à trois ouvriers. On peut, par conséquent, parler de spécialisation du travail, mais en petites unités.

#### Le concassage

La gangue du minerai est composée principalement de baryte, roche très friable. Le concassage se faisait dans des mortiers, simples pierres excavées en grès houiller (fig. 7). L'ouvrier pouvait frapper sur les blocs minéralisés à l'aide d'un percuteur en pierre taillé pour faciliter son maniement ou bien écraser les gravillons avec une pierre utilisée comme un broyeur. Le plus souvent, le concassage suffisait à éliminer l'essentiel de la baryte. Les ouvriers devaient travailler assis au sol, le mortier entre les jambes ; le rejet des stériles se faisait immédiatement devant le mur de façade de l'atelier. Dans deux cas, un mortier était associé à un caniveau ; la raison de ce dispositif n'a pas encore été élucidée.

#### Le broyage

Les installations qui permettaient de procéder au broyage sont plus délicates à interpréter. L'agglomération se termine, sur son flanc occidental, par une vaste canalisation (C1) qui

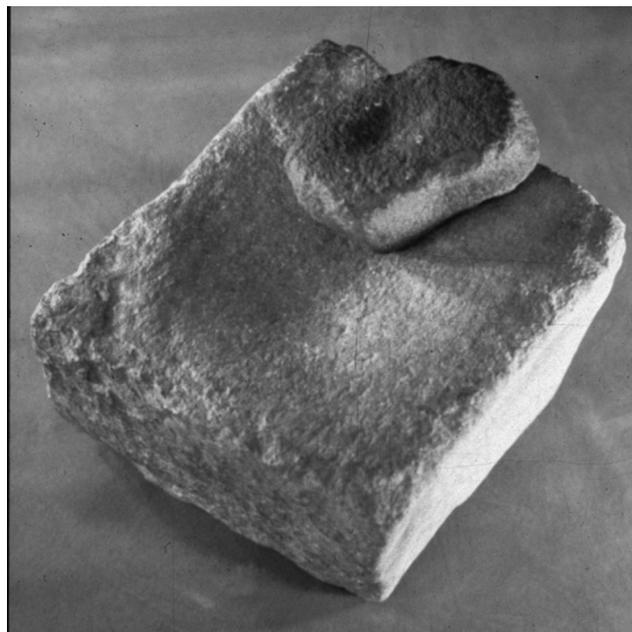


Figure 7 : Modèle de mortier et de percuteur.  
*Figure 7: Mortar for crushing ore with stone sticker.*

draine les eaux du Rif Bruyant, déversoir du lac Blanc. Son tracé est très sinusoïdal et elle reçoit les eaux d'une canalisation plus orientale (C2), parfaitement rectiligne. La jonction des deux aménagements se fait au niveau d'un petit bassin de rétention dans C1 qui devait permettre de réguler les lâchers ou le débit de l'eau. À partir de ce bassin, l'eau se séparait en deux chenaux, de part et d'autre d'un terre-plein central, chenaux qui se rejoignaient ensuite en un goulot étroit au contact du chemin médiéval, à l'aval du dispositif. L'ouverture de deux tranchées en travers des chenaux et du bourrelet central a permis de recueillir près de 130 éclats ou fragments de meules, confirmant les témoignages anciens qui situaient dans cette canalisation des meules baignant encore dans l'eau, parfois par paire (Müller, 1899, Müller, 1901).

De nombreuses questions restent posées à propos du broyage :

*Que broyait-on ?* La baryte ne nécessite pas de telles installations en raison de son extrême friabilité. Le broyage à la meule était-il réservé aux minerais pris dans des gangues mixtes (baryte/quartz) ? aux minerais très dispersés dans la gangue ? dans l'encaissant ? Des analyses réalisées sur des échantillons prélevés au lac Blanc ont montré que de la bournonite était présente dans le minerai<sup>13</sup>. Il est alors pos-

13. Garçon Marion, *Étude de la composition isotopique en plomb dans les sédiments du lac Blanc d'Huez*, mémoire de master 1, Science de la Terre et de l'Environnement, Université Joseph Fourier, Grenoble, 2008.

sible que l'on cherche à récupérer des particules très fines d'un minerai particulièrement riche en argent.

*Quand avait lieu cette phase?* S'agit-il d'une étape obligatoire dans un processus qui fait intervenir d'abord le concassage, puis un broyage pour obtenir une granulométrie proche de la farine avant de passer au lavage? Ou bien s'agit-il d'un progrès technique par rapport au concassage manuel?

*Comment étaient actionnées ces meules à minerai?* Les meules étaient façonnées sur place, dans des blocs erratiques de grès houiller. Elles ont un diamètre moyen de 80 cm et une épaisseur de 20 à 30 cm. La surface est rayonnée du centre vers l'extérieur et des stries concentriques marquent la surface de sillons allant en s'amincissant de l'extérieur vers l'intérieur. Toutes sont du même type, certaines ayant un emplacement pour l'anille, d'autres non (fig. 8). La question du fonctionnement des meules reste ouverte. L'énergie était hydraulique, mais on ignore encore où elles se trouvaient dans la canalisation, comment cette énergie leur était transmise, comment étaient composés ces moulins. Une étude systématique des meules est prévue en 2009.

On peut parler d'ergonomie de l'outillage. Ergonomie car les percuteurs nécessaires au concassage sont travaillés de façon à en faciliter la préhension; encore aujourd'hui, il est possible de déterminer si l'on a en main l'outil d'un droitier ou d'un gaucher. Ergonomie car les mortiers, percuteurs, broyeurs, meules sont dans une roche extraite sur place et par conséquent ils ne coûtent rien. Ergonomie car cet outillage est parfaitement adapté aux besoins et d'une efficacité incontestable; l'expérimentation a montré que la baryte se brisait aussi bien avec un percuteur en pierre qu'avec un marteau en fer et que la surface utile du premier était supérieure.

## Le lavage

Le quartier occidental du village est entièrement occupé par des aménagements hydrauliques et des bassins de lavage du minerai, s'étagant sur plusieurs terrasses. Au total, 29 bassins ont été mis au jour; quatre se trouvaient à l'intérieur d'ateliers alors que les autres étaient en aire ouverte. Les premiers bassins mis au jour étaient « isolés » en ce sens qu'ils n'étaient pas mitoyens, et parfois même assez distants les uns des autres. La fouille de l'aire jouxtant le tracé aval de la canalisation C1 a permis de retrouver des bassins qui s'organisent en grappe, de formes différentes, occupant des terrasses étagées. Quelle que soit leur situation topographique, ces bassins se répartissent selon trois principales catégories : circulaires, ovales ou quadrangulaires (fig. 9). Tous étaient entièrement comblés avec du sable.



Figure 8 : Meules à minerai de Brandes, ici réemployée comme fond de bassin.

*Figure 8: Millstones ore, here recycled as a basin floor.*



Figure 9 : Bassin ovale implanté en aire ouverte sur une terrasse contenant plusieurs bassins.

*Figure 9: Oval basin located in open area where are several basins.*

Une étude sédimentologique a été menée sur trois structures : un bassin ovale (43), un bassin carré (495) et un bassin rond (525). Les résultats sont assez différents d'une structure à l'autre<sup>14</sup>. Les bassins allongés, qu'ils soient ovales ou rectangulaires, permettent la circulation de l'eau et la structure 495, en particulier, montre, en queue de bassin (la tête avait été évacuée par la fouille) « une sédimentation pour l'essentiel par accumulation forcée. Aucune trace de décantation. Les sédiments parvenus à l'extrémité du bassin ont été transportés principalement par roulement et par suspension uniforme. L'opération d'enrichissement semble donc avoir été opérée en contrariant le transport par suspension dégradée, c'est-à-dire celui qui s'opère au sein de la nappe d'eau en contact avec le fond de l'installation ». Le bassin 525, rond, ne permet pas une circulation d'eau et son remplissage, très remanié, évoque une accumulation de sables venant d'une autre structure. En l'état de l'étude, on peut écrire que « la coexistence de différents types de bassins confirme l'existence conjuguée de simples aires de dépôt et d'installations de classement au pied des dispositifs d'enrichissement, et cela en vue d'un retraitement ultérieur des différents résidus de lavage ».

Ces résultats, pour une partie d'entre eux, ne sont pas incompatibles avec un lavage au sluice. L'eau de la canalisation était amenée, par des goulottes en bois, sur des tables en bois inclinées. Le minerai se séparait de la gangue sous un faible courant d'eau, par différence de densité. Les planches étaient recouvertes de tissus qui retenaient les paillettes; de grands lambeaux de tissus ont été retrouvés dans les sables stériles. Un bassin, à l'extrémité de la table, recevait les sables qui pouvaient ainsi être lavés plusieurs fois.

L'abattage du minerai par le feu émettait des petites plaquettes de roche, mais aussi des particules très fines mêlées au charbon de bois, qui échappaient au ramassage par les mineurs. Afin de ne rien perdre, ces derniers devaient procéder, de temps en temps, au curage des sols des chantiers miniers car les bassins contiennent des strates noires très riches en charbon de bois.

#### 4. L'ESSAI DU MINERAI

Aucune des opérations permettant d'obtenir le plomb et l'argent séparément n'a été menée à Brandes. Le minerai en poudre était descendu dans la vallée à dos de mulets qui, à la remontée, apportaient le combustible (bois et charbon de bois) (Marcellier, 1688-1710).

14. Les analyses sédimentologiques ont été réalisées par Christophe Marconnet de la société Arkémine.

En revanche, la pratique était de procéder à des essais de minerai avant tout développement de chantier, afin d'en connaître la teneur en métal précieux (Baillly-Maître, 2000). Dans l'enquête de 1339<sup>15</sup>, on peut lire que le Dauphin possède des mines à Brandes et qu'« elles étaient accensées, ainsi que le fourneau, pour cent marc d'argent à la neuvième part. En outre le fourneau [vaut] trente-quatre marcs d'argent... » L'importance de la somme et la place du fourneau dans le texte, associé aux revenus miniers, ne peuvent qu'indiquer un four d'essai du minerai. Les prospections géophysiques<sup>16</sup> menées sur le plateau de Brandes n'ont pas permis de le localiser, mais la recherche se poursuit car un lingot de plomb d'œuvre a été retrouvé dans un atelier du plateau. Il a fait l'objet d'un premier examen dont les résultats étaient assez décevants, mais qui a amputé l'objet d'une moitié<sup>17</sup>. En 2009, le demi lingot restant a été soumis à une analyse élémentaire par Particule Induces X ray Emission (PIXE) sur l'accélérateur AGLAE<sup>18</sup>. Les résultats sont, cette fois, beaucoup plus significatifs. Les composantes majeures en % masse sont : Pb : 95,6 ; Cu : 3,2 ; Mo : 0,02 ; Ag : 0,08 ; Sb : 1,1.

Il s'agit donc de plomb ouvré à partir duquel des prélèvements ont été faits pour faire l'essai proprement dit. Ce lingot a dû être préparé dans ce but, mais aucun prélèvement de matière n'y avait encore été fait au moment de son abandon, comme le montre sa surface uniforme.

#### CONCLUSION

Une décennie à étudier les structures liées à l'habitat (fortification, église, cimetière, habitations), une autre consacrée aux chantiers miniers et une troisième centrée sur les aménagements hydrauliques, le travail porte sur les structures industrielles liées à l'usage de l'eau, principalement les bassins de lavage en batterie qui occupent l'entrée dans l'agglomération, formant un faubourg industriel. Nul doute que la fouille de ces bassins, leur typologie, l'étude sédimentologique qui est faite à partir des sables stériles apportent des informations inédites sur l'étape d'enrichissement du minerai.

15. AD 38 B 3120, f° 62 Enquête delphinale de 1339 en vue du Transport du Dauphiné.

16. Prospection menée par Nicolas Florsch, du laboratoire Sysiphe, UMR 7619 CNRS – université Pierre et Marie Curie.

17. Étude réalisée par I. Guillot, du laboratoire de physico-chimie des matériaux de l'université de technologie de Compiègne.

18. Analyse réalisée par David Bourgarit, du C2RMF de Paris.

## Bibliographie

- ANCEL, B. et PY, V., 2010.** Une mine de plomb argentifère dans un environnement montagnard : la mine médiévale du Fournel à L'Argentière-la-Bessée (Hautes-Alpes), dans ce volume.
- BAILLY-MAÎTRE, M.-Ch. et SIMONEL, B., 1996.** Travail et milieu. Incidences sur une population au Moyen Âge, *L'Identité des populations archéologiques*, XVI<sup>e</sup> Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, 1995, éditions APDCA, Sophia Antipolis, 1996, p. 211-244.
- BAILLY-MAÎTRE, M.-Ch., 1997.** La mine au Moyen Âge. La gestion de l'espace souterrain, Mélange Cl. Domergue, *PALLAS*, 46, 287-295.
- BAILLY-MAÎTRE, M.-Ch., 2000.** Essai d'une mine de plomb et argent *versus arenas* en Oisans par ordre du gouverneur du Dauphiné, le 15 octobre 1359, *La Pierre et l'Écrit, Pierres de mémoire, écrits d'Histoire*, Grenoble, PUG, p. 131-143.
- BAILLY-MAÎTRE, M.-Ch., 2001a.** Forge villageoise, forge ouvrière : étude comparée, XIX<sup>e</sup> Journées Internationales de Flarans *L'artisan au village dans l'Europe médiévale et moderne*, Flarans, 1997, Toulouse, Presses Universitaires du Mirail, p. 203-218.
- BAILLY-MAÎTRE, M.-Ch. et MARCONNET, Ch., 2001b.** « L'archéologie minière et métallurgique. Une archéologie pluridisciplinaire », *Revue d'Auvergne, Nouvelles archéologiques, Du terrain au laboratoire*, n° 554/555, Aurillac, L'atelier neuf, p. 201-212.
- BAILLY-MAÎTRE, M.-Ch., MARTIN, L. et HERRSCHER, E., 2008.** Se nourrir en haute montagne aux XIII<sup>e</sup>-XIV<sup>e</sup> siècles : le village de Brandes (Huez-Isère). Apports comparés de l'archéologie, des textes et de l'anthropologie, 7<sup>e</sup> congrès de l'Association Internationale pour l'Histoire des Alpes, Vevey (Suisse), 2007, *Alimentation et santé dans les sociétés de montagne du Moyen Âge au XX<sup>e</sup> siècle*, Zurich, Chronos, p. 83-100.
- BAILLY-MAÎTRE, M.-Ch., 2002.** *L'Argent. Du minerai au pouvoir dans la France médiévale*, Paris, Picard, coll. « Espaces médiévaux », 211 p.
- BAILLY-MAÎTRE, M.-Ch. et DHÉNIN, M., 2004.** Ateliers monétaires et mines d'argent dans les Alpes (x<sup>e</sup>-xv<sup>e</sup> siècle). Histoire, archéologie, numismatique et archéométrie, *Archéologie Médiévale*, tome 34, CNRS éditions, p. 43-64.
- BAILLY-MAÎTRE, M.-Ch., 2008.** *Une aventure minière : Huez et l'argent au Moyen Âge – L'argenteria de brandis*, Musée d'Huez et de l'Oisans, n° 8, 102 p.
- BENOÎT, P., 1988.** Le roulage dans les mines européennes aux xv<sup>e</sup> et xvi<sup>e</sup> siècles, *Congrès national de spéléologie*, Nancy-Metz, 1985, *Spelunca*, 14, Nancy, L'Espel, p. 21-25.
- BIRINGUCCIO, V., 1540.** *De la pirotecchia*, Venise.
- BRUGEROLLES, H., BARI, H., BENOÎT, P., FLUCK, P. et SCHOEN, H., 1992.** *La mine mode d'emploi*, Paris, Découvertes Gallimard album.
- CHOMEL, V. (dir.), 1999.** Dauphiné, France. De la principauté indépendante à la province (xii<sup>e</sup>-xviii<sup>e</sup> siècles), *La Pierre et l'Écrit*, Grenoble, PUG, 207 p.
- GUILLOT, I., FLUZIN, Ph. et CLAVEL, M., 1987.** Interprétation thermodynamique de la structure d'outils miniers du xv<sup>e</sup> et du xviii<sup>e</sup> siècles, *Matériaux et Techniques*, p. 411-419.
- LÉON, P., 1962.** Un document médiéval : le règlement minier d'Allevard – 29 mars 1395, *Revue d'Histoire de la Sidérurgie (RHS)*, III.4, p. 229-240.
- MARCELLIER, G., 1688-1710.** *Inventaire des titres de la chambre des comptes du Dauphiné*, Graisivaudan, volume 6.
- MÜLLER, H., 1899.** « Notes sur les mines et la paroisse abandonnée de Brandes-en-Oisans », *BSDEA*, VI, 2, p. 95-144.
- MÜLLER, H., 1901.** Contribution à l'histoire de la paroisse et des mines abandonnées de Brandes-en-Oisans, *AFAS*, 30<sup>e</sup> session, Ajaccio, p. 1133-1155.
- PIERRE, F., 2008.** Les mines de La Croix d'après le graduel de Saint-Dié : réalité ou décor?, f° 338, *Art de l'enluminure*, n° 26, sept.-nov., p. 62-67.
- VALBONNAY, M., 1722.** *Histoire du Dauphiné et des princes qui ont porté le nom de Dauphin...*, Genève, 627 p.

